



自動車技術を取り巻く デジタルエンジニアリングの進展

自動車CAEの進展 －自動車空力CFDの最近の動向－

アドバンスソフト株式会社
解析グループ 主管研究員
鬼頭 幸三

1.

自動車の性能に関するデジタルエンジニアリングの適用分野¹

(主として流体技術関連 (Advance/Red, Blue, FOCUS, MP, FS, NET, Noise, STR, Phase))



(引用: 東大生研RSS21 (2006))

車体系

- 車体空力特性*
- 空力付加物の空力特性*
- 車体に作用する非定常空気力*
(+ 自然風の影響)
- 床下流れ・ウエーク流れ*

- ブレーキ回り流れ (+ 冷却)
- 泥はね (気固液3相流)
- 空力・車体構造連成*

- 空力騒音・騒音源*
(車体, 空力付加物)

車室内環境系

- 空調システム内部流れ*
- 空調系騒音*: ファン・管路系騒音

- 車室内流れ
(+ 乗員生体系連成)
- 生体血流*

車両運動

- 横風突風遭遇時の非定常空力特性・車両運動との連成
- 燃料タンクのスロッシング*
- ハイドロプレーニング*

(アンダーライン付項目: ご紹介項目)
(*付項目: 受託可能項目)



自動車の性能に関するデジタルエンジニアリングの適用分野₂

(主として流体技術関連 (Advance/Red, Blue, FOCUS, MP, FS, NET, Noise, STR, Phase))



(引用: 東大生研RSS21 (2006))

エンジン・動力伝達系

- 筒内流れ*
- 燃焼現象*
- 噴霧現象*
- エンジンシステム性能(管路系)
- 吸排気システム
(+バルブ作動)

- 冷却系*: ラジエータ、エンジン
ブロック冷却水流れ(+騒音)、
コンデンサー²相流
- エンジンルーム内流れ
(+熱現象、外部流連成*)

- 油圧回路: トルクコンバータ
内部流れ*、回路内非定常流れ、
キャピテーション、バルブ・管路
共振
- マフラー・触媒内流れ*(+騒
音)

新システム関係

- 燃料電池関連(セル詳細3次元
解析、スタック・管路系*、**水素タ
ンク急速充填***)

生産技術

- 焼入れ*
- 鋳造・湯流れ
- メッキ(吹き付け)塗装・CVD*
- 樹脂成型*

部品系

- ランプ内熱・流れ(+凝縮)

ナノテクノロジー関連

- FC*・バッテリー*
- 半導体*

非流体関連

- 衝突安全: 車体クラッシュ特性
- インバクトバイオ関連
- 鍛造
- 路面外乱・車体構造連成

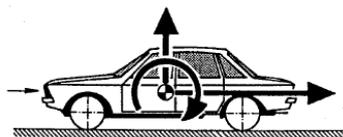
(アンダーライン付項目: ご紹介項目)
(*付項目: 受託可能項目)



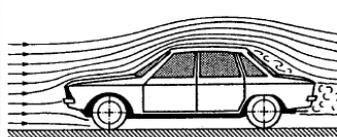
3

自動車の空気力学

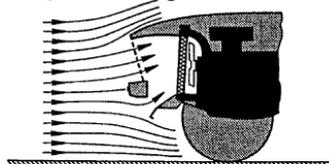
Performance, Stability



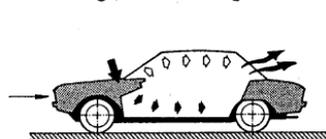
Flow Field in Detail



Engine Cooling



Heating, Ventilating



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))



4

Cd値低減の背景: 燃費規制

日本	2015	平均燃費16.8km/L	(平均23.5%改善)
欧州	2012	CO ₂ 排出量130g/km(ほぼ日本並み)	(平均20%改善)
米国	2020	1ガロン35マイル(14.9km/L)	(平均40%改善)

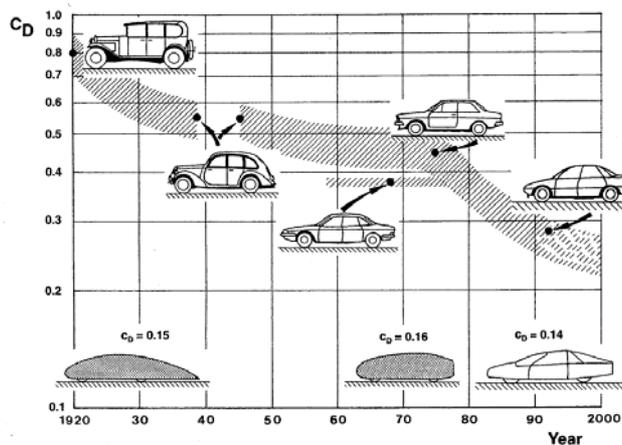
自動車の種別	2004年度実績値	2015年度推定値	燃費改善率 (クラス別基準平均)
乗用車	13.6 (km/L)	16.8 (km/L)	23.5%
小型バス	8.3 (km/L)	8.9 (km/L)	7.2%
小型貨物車	13.5 (km/L)	15.2 (km/L)	12.6%

(引用: 乗用車等の新燃費基準(平成19年);国土交通省ホームページ)



5

Cd値の変遷

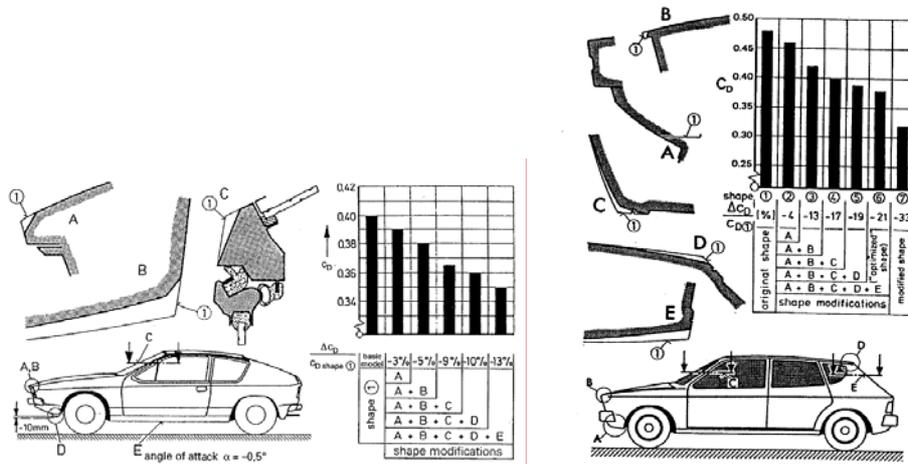


(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))



6

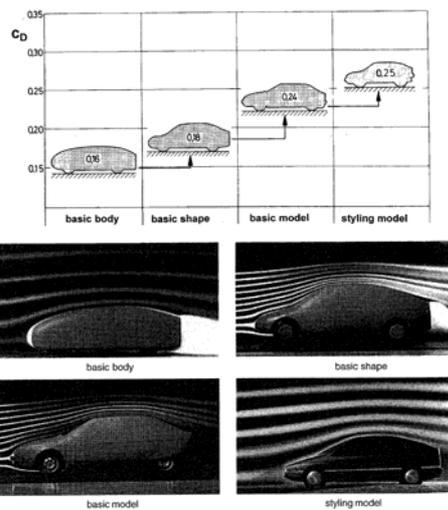
空力開発: 外部形状の細部最適化



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))

7

空力開発: 外部形状の形状最適化



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))

8

車両空気力学のCFDに関する課題

プリプロセス: 3次元CADデータからの格子生成

- 背景: CADデータには、構成要素間の微小な隙間や微細な凹凸等が存在
- 表面処理: 複雑形状の表面の簡素化(表面処理、ラッピング等)
- 課題: (複雑形状への対応)非構造格子形状、格子数の選択、**“良質な形状の生成”**等

ソルバー: CFDのコア部分

- 背景: 流体现象を支配する基礎方程式をいかに精度よく解くか
工業的な応用に必要となる複雑形状に対しては、“直接解法”は不可能
何らかのモデル化が必要
- 乱流の取り扱い: レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式による解法(RANS)
- 従来の取り扱い: ラージ・エディ・シミュレーション(LES)、格子ボルツマン法に基づく非定常解法
- 最近の動向: 乱流モデルの影響、数値スキームの影響、**“解の格子依存性”**等

ポストプロセス: 計算結果の表示、可視化

- 課題: 適確な物理量の把握と**“評価”**
実験では中々分からない**“複雑現象の解明”**、製品の性能改善に結び付く手段の提案

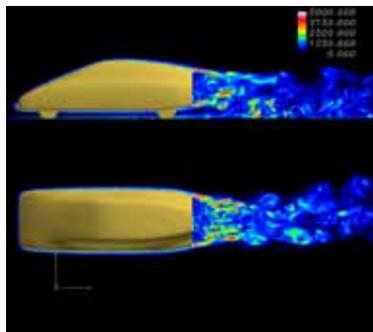


9

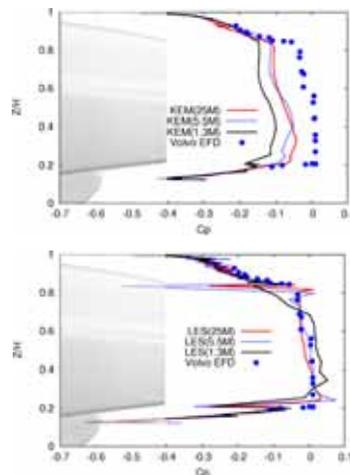
車両まわりの流れ場の特徴:非定常性

流れ場の非定常性の把握:LES vs. k-モデル

- 車体の空力特性開発: 風洞実験からCFDへ
- 非定常乱流モデルの適用: ウェークにおける大規模非定常渦を捉えることが本質的である

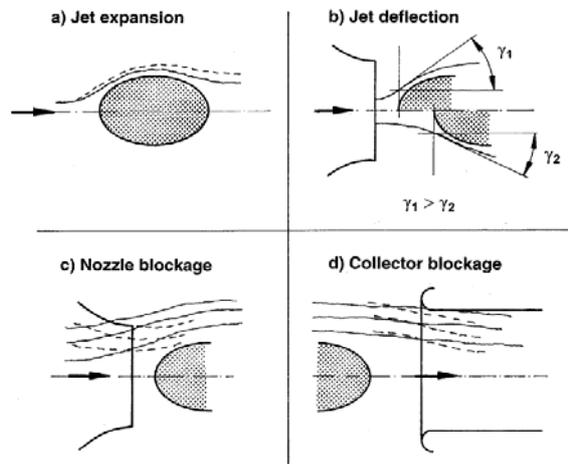


(引用:東大生研RSS21(2006))



10

風洞構造の影響を受ける計測値



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))

11

計算値の検証の精密化 SAE paper 2007-01-1045

(引用: O. Fischer et al. "CFD investigation of wind tunnel interference effects" (2007))

- 背景: 風洞実験による車両空力特性の計測値は風洞構造の影響を受けるほとんどの場合、CFD では風洞構造の影響を考慮して計算を行っていない
- 本論文: 風洞構造の影響をも考慮した車両空力特性の再現 CFD 結果の厳密な検証方法を提示
- 主要結果: スケールモデルの開放型風洞の流れ場の再現
 - 計算手法: 格子ボルツマン法
 - 格子数: 6700-7300万ボクセル(車両なしの場合)
23500万ボクセル(車両ありの場合; 計算時間は21000CPU時間)
 - 標準風洞形状の場合(形状1): 形状1

実験Cd	0.250	実験CI	-0.260
計算Cd	0.260	計算CI	-0.245
 - スタグネーションボディを置いた風洞形状の場合(圧力勾配を再現したケース(形状2)):

実験Cd	0.218	実験CI	-0.246
計算Cd	0.226	計算CI	-0.230

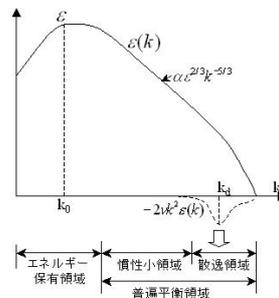


12

LES解析解の評価方法

(引用:大島他:“複雑形状の流れ場に関するLES解析解の評価方法”(東大生研・生産研究(2009-1))

- ステージ1:
粗格子と密格子を用いた複数の解析解の比較検討
- ステージ2:
解析解に関するエネルギースペクトルの検討
- ステージ3:
従来の経験、類似形状における解析解との比較検討
- ステージ4:
解析解の物理的な解釈



13

格子生成時間の短縮: 直角座標系と埋め込み境界法

SAE paper 2007-01-0109

(引用:S. Jindal et al. :“The immersed boundary CFD approach for complex aerodynamics flow predictions”, (2007))

- 背景:
非定常解析による車両空力性能の予測精度の向上
格子生成の容易性・生成時間の短縮化
特に、
複雑形状のCADデータの表面処理・格子生成
車体表面近傍流れの取り扱い
- 本論文:
直角座標系を用いた「埋め込み境界法」を車両空力性能の予測に応用
- 主要結果:
「埋め込み境界法」IB(immersed boundary)と「境界適合座標系」(BFS: body-fitted simulation)

使用コード: FLUENT V6.2, TOMMIE (格子生成ツール)
基礎方程式: 定常非圧縮3次元RANS方程式,
乱流モデル: realizable k-εモデル

セル数: IB: 1200-1700万セル
BFS: 700 - 1000万セル

Cdの誤差(対実験値):

セダン	BFS	5-6%
	IB	0-1%
SUV	BFS	6%
	IB	3%



14

2009 SAE年次大会における発表動向(空力関係) SAE sp-2226

- 流れの非定常性
 - 乱流強度と表面圧力変動
 - 道路上の乱流
 - 乱れとAピラーまわりの流れ
 - トランクデッキ上の流れ構造と高速安定性(実験と計算)(J)
 - 非定常風と車両長手方向応答
 - 非定常空カミュレータの開発(J)
- 空力騒音
 - 空力騒音とスケール則
 - window buffetingの計測
 - PIVによるside window buffetingの研究
 - 音源としてのHelmholtz共鳴
 - ミラーまわりの風騒音計測
 - real world wind noise modeling
- 乱流モデル・計算手法
 - DESによるsurface-mounted tube流れ
 - DESの応用
 - 埋め込み境界法
 - rapid meshing
- タイヤ回転・床下流れ場
 - Formula 1 タイヤ
 - センタベルトroughnessの影響
 - タイヤ詳細形状の影響
 - タイヤ近傍まわりの流れ
 - SUVの床下流れ場
- トラック空力・二輪空力
 - 二輪車まわりの流れ(J)
 - ピックアップ空力
 - 大型車のタイヤハウス流れ
- CFDの利用
 - 複雑形状流れ場へのCFDアプローチ(J)
 - デザインにおけるCFD利用
 - functional design method

(注) J=Japan



15

まとめ

- 自動車の性能に関するデジタルエンジニアリングの適用分野
- 自動車の空気力学
- 空力開発: 技術背景と風洞実験
- 車両空気力学のCFDに関する課題
- 車両まわりの流れ場の特徴: 非定常性
- 計算値の検証の精密化
- LES解析解の評価方法
- 最近の話題ほか



お問い合わせ: Tel: 03-5570-1680 email: office@advancesoft.jp URL: <http://www.advancesoft.jp>

16